تلوث الهواء

- تلوث الهواء ، هو أي تغير في تركيبة الهواء أو إذا اختلط به بعض الشوائب أو الغازات بنسبة تزيد عن الحد المسموح به أي النسبة التي فوقها يصبح هناك ضرر للكائنات

- التلوث إما أن يكون محلي على مستوى المناطق أو المدن (التلوث بـ NO_x ، الهيدروكربونات أو اقليمي (التلوث بـ SO_x)
أو عالمي (التلوث بـ CO_2 والاشعاعات الذرية)
وذلك تبعاً لقدرة الملوث على الانتشار في الهواء قبل أن يتفاعل مع غيره من المركبات ويصبح أقل ضرراً.

- التلوث يمكن أن يكون طبيعياً (كالتلوث بنواتج عوامل الحت والتعرية وغبار الطلع والبراكين وأمواج البحار ... الخ) ، أو تلوث بشرياً ناجم عن احتراق الوقود

- أهم الملوثات الناتجة عن احتراق الوقود ومخلفات الصناعة : (CO ، CO_2 ، SO_2 ، SO_3 ، NO ، NO_2 ، الرصاص ، الغبار ...)

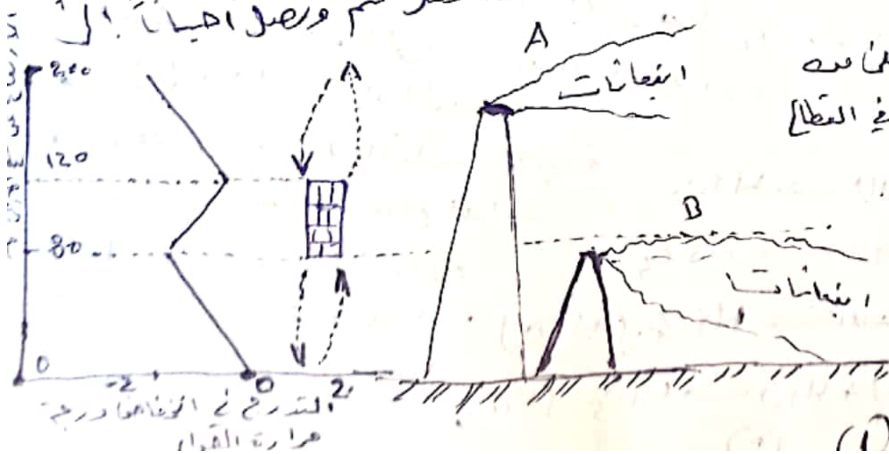
- تيارات الحمل العمودية : تتناقص درجة حرارة الهواء كلما ارتفعنا نحو الأعلى من سطح الأرض وذلك لكون الأشعة الشمسية ذات الأطوال الموجية (حتى 1375 نانومتر) تسخن سطح الأرض ومكوناته ، ليعيد سطح الأرض إصدار هذه الأشعة على شكل موجات طويلة أكبر من (1375 نانومتر) ، ولهذا تصبح الطبقة القريبة من سطح الأرض الغنية بـ CO_2 و H_2O وغيرهما من المركبات الماصة لهذه الأمواج والناتجة عن النشاطات الحيوية والبشرية المختلفة هي الأكثر عرضة لهذه الأمواج فترتفع درجة حرارتها ، أما طبقة الهواء التي تعلوها فتكون نسبة تلك المركبات فيها أقل وهي أساساً أبعد عن مصدر الأشعة طويلة الموجة المرتدة وبالتالي تكون عرضة لحرارة أقل وهكذا .

تسخن الطبقة الهوائية القريبة من سطح الأرض ، فتتمدد وتقل كثافتها وترتفع نحو الأعلى مشكلة تيارات هواء صاعدة ، ليهبط مكانها هواء أبرد وأثقل ليتحصل على حرارة من سطح الأرض ويعود ليتمدد ويرتفع مجدداً وهكذا وتسمى تيارات الحمل .

إن هذه التيارات هي المسؤولة عن حمل الملوثات نحو الأعلى وتشتيتها ومزجها في الطبقات العليا للهواء . ولولا ذلك لتراكمت الملوثات في الطبقات السفلى واستحالت الحياة .

- الانقلاب الحراري :
إن الحالة الطبيعية أن تتناقص درجة حرارة الهواء في طبقة التروبوسفير كلما ارتفعنا نحو الأعلى وهذا السبب وراء حمل الملوثات نحو الأعلى ، ولكن في بعض الأحيان تنشأ طبقة هواء (بسماكات تتراوح بين 50 - 200 متر) تكون درجة حرارتها أعلى من الطبقة التي أسفلها وتمنع صعود التيارات الهوائية مع ما تحمله من ملوثات إلى الأعلى فتتراكم وتصل أحياناً إلى سطح الأرض .

لذلك يتم رفع المداخن إلى مستويات أعلى من طبقة الانقلاب التي تتشكل عادة في القطاع الصناعي أو ارتفاع طبقة الانقلاب ، ويعود لاعتبارات طبيعية تضاريسية ومناخية



• **أشكال الانقلاب الحراري**

- انقلاب اشعاعي: يتشكل نتيجة تصادم كتلة هوائية دافئة مع أخرى باردة حيث تجتاز الدافئة الكتلة الباردة في القطاع الجبهوي. يتشكل ليلاً في حال عدم استقبال الاشعاع لفترات طويلة نسبياً إذ يبرد الهواء القريب من سطح الأرض أسرع من الهواء الذي في الطبقات العليا التي تبقى دافئة.
- الانقلاب الهابط: يهبط الهواء من الطبقات العليا ليأخذ مكان الهواء في الطبقات الأدنى ويستمر انعقاده لفترة.
- الانقلاب البحري: يتشكل في أشهر الصيف عندما يأتي الهواء البارد المحمل بالرطوبة من المحيط ليحل محل الهواء البري الجاف الساخن.

يستمر الانقلاب من عدة ساعات إلى عدة أيام حتى تشتت الرياح الأفقية طبقة الانقلاب أو تقوم أشعة الشمس بتسخين الطبقات وتتمدد وتتشتت.

• **الطرق الصناعية لتنقية الانبعاثات من CO**: تتم عبر مرور غازات الانبعاثات في المداخن

1- إعادة حرق CO بدرجات حرارة 1000 م بوجود محفزات مثل Fe , Cu ليتحول إلى CO_2 حيث يتم من ذلك طاقة حرارية تعوض الحرارة المرتفعة المطلوبة.

$$CO + O_2 \xrightarrow[1000^\circ C]{Fe} CO_2 + E$$

2- امتصاص CO :

$$I_2O_5 + CO \xrightarrow{180^\circ} I_2 + CO_2$$

3- امتصاص CO بوجود محفزات بنفس المركب السابق I_2O_5 لكن بدرجات حرارة أقل:

$$CO + (H_2SO_4 + I_2O_5) \xrightarrow[200^\circ]{Ni, Fe} CH_4 + H_2O + I_2 + CO_2 + SO_4^{2-}$$

4- امتصاص CO من خلال ارجاع أكاسيد المعادن:

$$CO + PbO \rightarrow Pb + CO_2$$
$$CO + HgO \rightarrow Hg + CO_2$$

• **أكاسيد الكبريت**: يحتوي الوقود على شيء من الكبريت تبعاً لطبيعة الطبقات الحاملة ودرجة التنقية

وعندما يدخل الوقود إلى منظومة الاحتراق يتأكسد الكبريت ليتحول إلى SO_2 و SO_3.

• وتتراوح نسبة S من أجزاء ضئيلة في الغاز الطبيعي الصالح إلى ≃ 1 في الديزل ليصل إلى 3-5 % في الفيول).

يعتبر مساهم رئيسي في الأمطار الحامضية.

وهذا الحمض ما يسمى بالملوثات الثانوية.

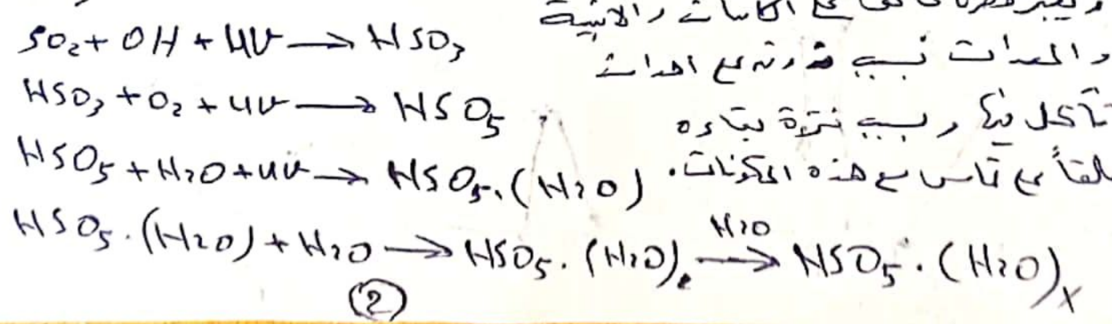
$$(SO_2, SO_3) + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

الملوث الأولي: هو الملوث المنبعث من مصدر الانبعاث مباشرة، ومن ثم يدخل في تفاعلات كيميائية مع أحد أو بعض مكونات الهواء أو بعض الملوثات الأخرى ليشكل ما يسمى بالملوثات الثانوية، لتشكل لاحقاً ملوثات ثالثية ... وهكذا. وقد تصبح الملوثات الثانوية أشد خطراً من الأولية بسبب سميتها كما الحال في الضباب الدخاني الذي يتشكل نتيجة تفاعل بعض المركبات الهيدروكربونية المتطايرة VOC وأكاسيد الآزوت وتساهم الأشعة فوق البنفسجية والأوزون الأرضي في تعزيز تشكل هذا الضباب.

يمكن أن يتشكل ما يسمى بالضباب الحمضي فيتحول SO_2 وفق التفاعلات التسلسلية التالية خاصة في أشهر الصيف حيث التجمعات الصناعية الكبرى ودرجات الرطوبة العالية:

• ويسمى أحياناً بالرذاذ الحمضي.

ويعتبر خطره ناتج عن الكائنات الحية والمعدات نسبة تآكلها مع ... تآكل كل ... بسبب ... ملتقاها بالتماس مع هذه المكونات.



$$SO_2 + OH + h\nu \rightarrow HSO_3$$
$$HSO_3 + O_2 + h\nu \rightarrow HSO_5$$
$$HSO_5 + H_2O + h\nu \rightarrow HSO_5.(H_2O)$$
$$HSO_5.(H_2O) + H_2O \rightarrow HSO_5.(H_2O)_2 \xrightarrow{H_2O} HSO_5.(H_2O)_x$$

• تنقية الانبعاثات الغازية من SO_2 :

- هناك ثلاثة اتجاهات رئيسية لتخفيض نسب SO_2 المنبعث في الهواء

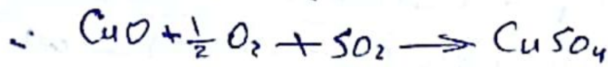
1- التشتيت من خلال رفع المداخن . لكن هذا لا يحل المشكلة جذرياً

2- تنقية الوقود من الكبريت - وهو ما يزيد تكلفة الوقود.

3- تنقية الانبعاثات الغازية من SO_x - وهو الحل الأكثر استخداماً لاقتصاديته مع باقي الطرق.

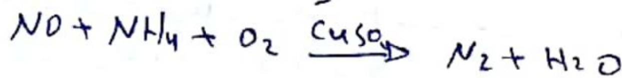
- أهم الطرق الصناعية لتنقية الانبعاثات من SO_2 :

1- استخدام $CuO - CuSO_4$: حيث تتضمن التخلص من SO_2 و NO_2 في آن واحد وتستمر حرارياً بدرجة [illegible]



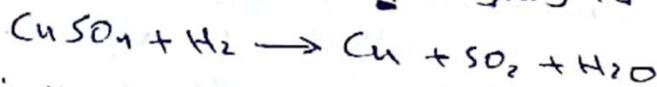
$$CuO + \frac{1}{2}O_2 + SO_2 \rightarrow CuSO_4$$

وبوجود $CuSO_4$ يتم ضخ أمونيا الماء إلى مفاعل التنقية :



$$NO + NH_4 + O_2 \xrightarrow{CuSO_4} N_2 + H_2O$$

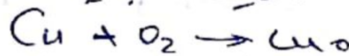
فيعاد توليد النحاس مجدداً في مفاعل آخر منفصل :



$$CuSO_4 + H_2 \rightarrow Cu + SO_2 + H_2O$$

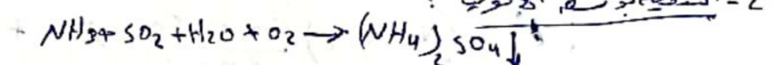
ليصبح SO_2 معزولاً ويُعبأ في صهاريج خاصة ليُنقل إلى صناعة الأسمدة والحموض وغيرها.

أما Cu فتتم أكسدته مجدداً ليدخل إلى مفاعل التنقية من جديد :



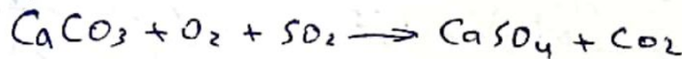
$$Cu + O_2 \rightarrow CuO$$

2- التنقية بواسطة الأمونيا :



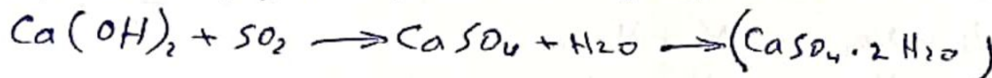
$$NH_3 + SO_2 + H_2O + O_2 \rightarrow (NH_4)_2SO_4 \downarrow$$

3- التنقية بواسطة الكلس : يتم إضافة حبيبات من المسحوق الكلسي (الكربونات) مع إضافات من الفحم ووضعها في الحراقات مع مسار الانبعاثات الحاوية على SO_2 (مفاعل التنقية)



$$CaCO_3 + O_2 + SO_2 \rightarrow CaSO_4 + CO_2$$

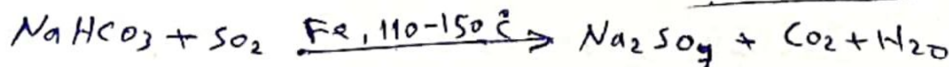
أو يمكن استخدام الكلس المطفأ لنفس الغرض حيث يتم غسل تيار الغازات الناتجة بمحلول $Ca(OH)_2$



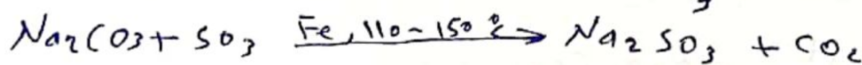
$$Ca(OH)_2 + SO_2 \rightarrow CaSO_4 + H_2O \rightarrow (CaSO_4 \cdot 2H_2O)$$

الذي يستخدم في صناعة الأسمدة.

4- التنقية بواسطة بيكربونات الصوديوم أو كربونات الصوديوم :

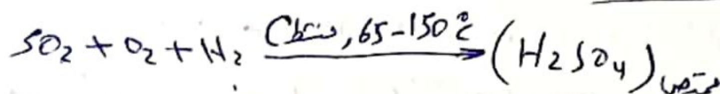


$$NaHCO_3 + SO_2 \xrightarrow{Fe,\ 110-150^\circ C} Na_2SO_4 + CO_2 + H_2O$$



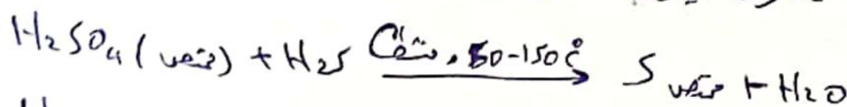
$$Na_2CO_3 + SO_3 \xrightarrow{Fe,\ 110-150^\circ C} Na_2SO_3 + CO_2$$

5- التنقية بواسطة الهيدروجين والفحم المنشط :

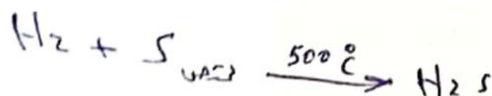


$$SO_2 + O_2 + H_2 \xrightarrow{C\ \text{منشط},\ 65-150^\circ C} (H_2SO_4)_{\text{ممتص}}$$

يُرسل الفحم إلى مفاعل آخر منعزل ليُنزع منه SO_2



$$H_2SO_4\ (\text{ممتص}) + H_2S \xrightarrow{C\ \text{منشط},\ 50-150^\circ C} S_{\text{ممتص}} + H_2O$$



$$H_2 + S_{\text{vap}} \xrightarrow{500^\circ C} H_2S$$

6- التنقية بواسطة الغسيل بالماء : حيث تزداد انحلالية SO_2 في الماء بوجود الكربونات (مع ازدياد [illegible] الماء) وهي طريقة رخيصة لكن تحتاج إلى كميات كبيرة من الماء الذي [illegible]



$$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

تنقية الانبعاثات من H_2S : ينتج غاز كبريت الهيدروجين من تخمر النفايات البشرية السائلة وتحلل المواد العضوية الحاوية على الكبريت، واحتراق الوقود الحاوي على الكبريت ومن صناعة تكرير النفط... الخ
هناك طرق:

1- أكثر الطرق انتشاراً وبساطة هي التخلص المزدوج من H_2S و SO_2 معاً:



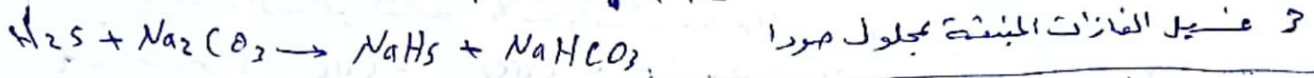
$$H_2S + SO_2 \rightarrow S\downarrow + H_2O$$

2- من خلال حمض الكبريت:



$$H_2S + H_2SO_4 \rightarrow S\downarrow + H_2O$$

3 غسيل الغازات المنبعثة بمحلول صودا

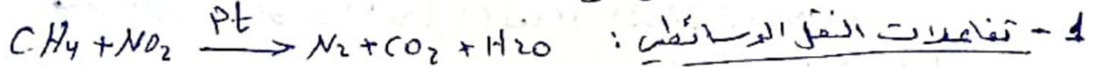


$$H_2S + Na_2CO_3 \rightarrow NaHS + NaHCO_3$$

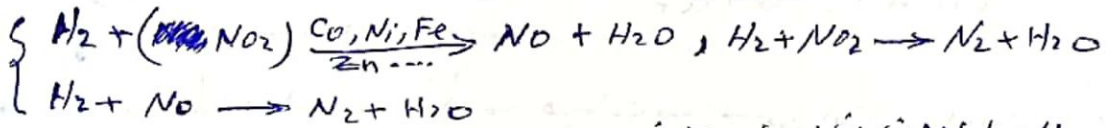
تنقية الانبعاثات الغازية من NO_x : يعتبر NO ، NO_2 من أهم أكاسيد النتروجين المنبعثة والتي تتشكل من اتحاد النتروجين الجوي الداخل مع هواء الاحتراق مع الاكسجين في درجات الحرارة المرتفعة في عمليات الاحتراق.
ويساهم هذه الاكاسيد مع اكاسيد الكبريت في تشكيل الامطار الحامضية حيث ان NO_x سهلة الذوبان في الماء لتشكل حمض الآزوت.

- تقوم عمليات التنقية على ثلاثة محاور للتخلص من NO_x وهي:
  - تحويل NO_x إلى N_2 الغير ضار.
  - تحويل NO_x إلى حمض الآزوت } تستفاد منها في مجالات صناعية
  - " " إلى أملاح نترات

1- **تفاعلات النقل الوساطي**:

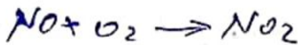


$$CH_4 + NO_2 \xrightarrow{Pt} N_2 + CO_2 + H_2O$$



$$H_2 + (NO_2) \xrightarrow[Zn\ ...]{Co,\ Ni,\ Fe} NO + H_2O \quad , \quad H_2 + NO_2 \rightarrow N_2 + H_2O$$
$$H_2 + NO \rightarrow N_2 + H_2O$$

2- **الحصول على الحمض الآزوت (الغسل بالماء)**



$$NO + O_2 \rightarrow NO_2$$



$$NO_2 + H_2O \rightarrow HNO_3$$

وبوجود الماء والاوكسجين تتحول معظم أكاسيد الآزوت الاخرى $N_2O_4,\ N_2O_3,\ N_2O_5$ الى حمض الآزوت.

3- **التفاعل مع النشادر**:

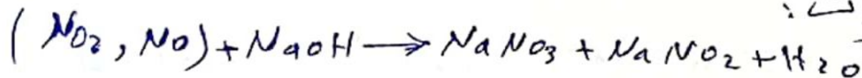


$$NH_3 + NO_2 \rightarrow N_2 + H_2O$$



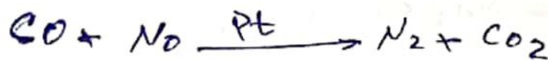
$$NH_3 + NO \rightarrow N_2 + H_2O$$

5- **الحصول على أملاح النتريت والنترات**:

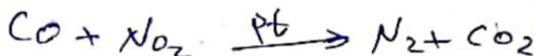


$$(NO_2,\ NO) + NaOH \rightarrow NaNO_3 + NaNO_2 + H_2O$$

6- **التخلص من NO_x و CO في حال وجود الأخير في الانبعاثات**:

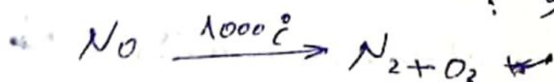


$$CO + NO \xrightarrow{Pt} N_2 + CO_2$$



$$CO + NO_2 \xrightarrow{Pt} N_2 + CO_2$$

7- **الطريقة الحرارية**: تتحول كل أكاسيد الآزوت إلى NO في درجات الحرارة $600\ C^\circ$ ثم يتم رفع درجة الحرارة إلى $900-1000$ م°:



$$NO \xrightarrow{1000\ ^\circ C} N_2 + O_2$$

5/

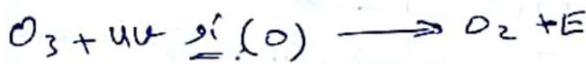
الاوزون

- الاوزون الستراتوسفيري : يتواجد الاوزون في طبقة الستراتوسفير على ارتفاع عند من 25 الى 50 كم ، ويساهم في امتصاص الاشعة فوق البنفسجية UV ذات الاطوال الموجية القصيرة (اقل من 240 نانومتر) والتي تعتبر مدمرة لكائنات الحياة في الارض لقدرتها على النفوذ الى اجسام الكائنات واحداث اضرار جينية . فيقوم بامتصاص الاشعة UV وبالتالي ترتفع درجة حرارة هذه الطبقة (الستراتوسفير)

تفاعلات تشكل وتفكك الاوزون الستراتوسفيري .

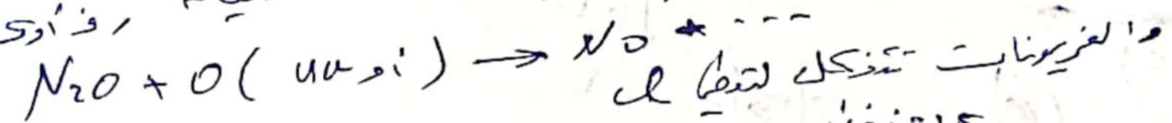

$$O_2 + UV \rightarrow O + O$$


$$O + O_2 \rightarrow O_3 + E$$

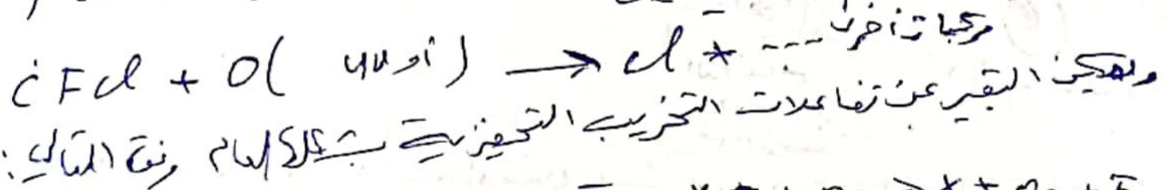

$$O_3 + UV \text{ أو } (O) \rightarrow O_2 + E$$

- تساهم الانبعاثات البشرية في تحطيم الكثير من جزيئات الاوزون الستراتوسفير وفق ما يعرف بالتفاعلات التحفيزية (تفاعلات سلسلة) عند وصولها الى الطبقة اهم هذه المركبات الكلوروفلوروكربونات ($CFCl$) او ما يعرف بالفريونات (غازات التبريد) وكذلك بعض الغازات (N_2O) والتي تعتبر شبه خاملة في طبقة التروبوسفير مما يسمح لها بالعبور عاليا عبر تيارات الحمل العمودية لتصل الى حدود الستراتوسفير ، وهناك تختلف المعادلة فبوجود الاشعة (UV) ذات الموجات القصيرة تتفكك هذه المركبات الخاملة الى مركبات نشطة تساهم في التفاعل مع جزيئات الاوزون وتفكيكه N_2O يتفكك الى NO بفعل UV

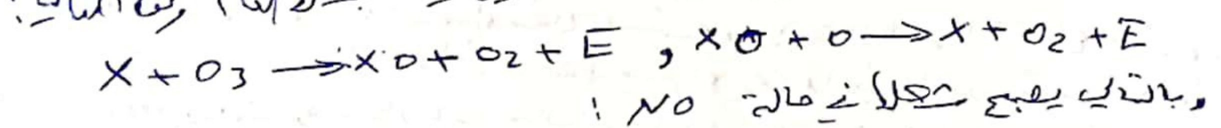
والفريونات تتفكك لتعطي Cl


$$N_2O + O(UV \text{ او}) \rightarrow NO^* \ldots$$

اوكسيد النتروز مركبات اخرى ...


$$CFCl + O(UV \text{ او}) \rightarrow Cl^* \ldots$$

ويمكن التعبير عن تفاعلات التخريب التحفيزية بشكلها العام وفق التالي :


$$X + O_3 \rightarrow XO + O_2 + E \quad , \quad XO + O \rightarrow X + O_2 + E$$

وبالتالي يصبح شكلها في حالة NO :


$$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2 \quad , \quad NO_2 + O \rightarrow NO + O_2$$

اما في حالة المركبات الكلورية فتصبح :


$$Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2 \quad , \quad ClO + O \rightarrow Cl + O_2$$

وهكذا تتوالى العملية آلاف المرات والمحصلة هي تفكك الاوزون الستراتوسفيري

- كما تمكن للطائرات ما تتسبب به من انبعاثات NO_2 فتساهم بشكل مباشر في احداث ثقوب موضعية للاوزون او تحطيم كميات هائلة منه

• **الأوزون الأرضي** : خلافاً عن الأوزون الستراتوسفيري يُعتبر O_3 في الطبقات السفلى من الهواء غازاً ملوثاً وشديد السمية لقدرته العالية على الأكسدة بعد دخوله إلى الجهاز التنفسي، كما يساهم في تشكيل الضباب الدخاني في المناطق الصناعية خاصة إذا ما توفرت الأشعة UV . لكن صناعياً يمكن أن يتم توليده لاستخدامه في مجالات عديدة أهمها تنقية المياه .

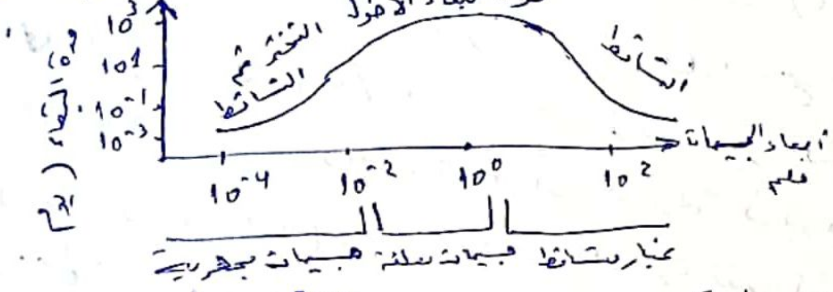
الجسيمات الصلبة :

يمكن تقسيم الجسيمات الغبارية تبعاً لحجمها :

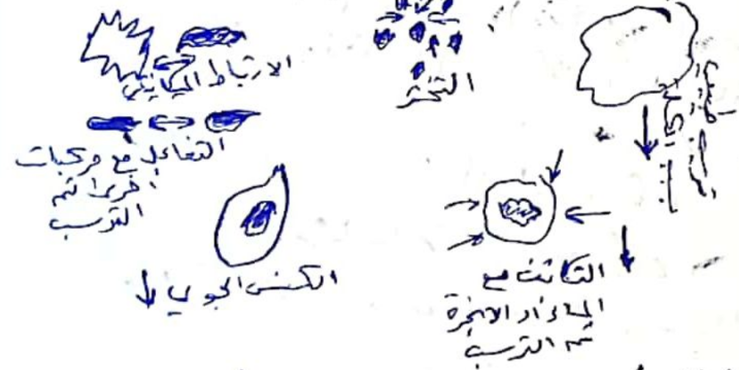
1 - **الغبار المتساقط** : الجسيمات التي يزيد قطرها عن 10 ميكرون وتترسب على مسافات ليست بعيدة عن مكان تشكلها (سرعة ترسيبها حوالي 17 سم/دقيقة)، ولهذا الحجم تأثير قليل على المجاري التنفسية لقدرة الحواجز الدفاعية الأولى في الجسم على احتجازها.

2 - **الغبار المعلق** : يتراوح قطرها 0,1 - 10 ميكرون وتبقى لفترة طويلة معلقة في الهواء وترسب ببطء يتوقف على الظروف المناخية.

3 - **الجسيمات المعلقة المجهرية** : قطرها أقل من 0,1 ميكرون، يصعب ترسبها لأنها تتحرك حركة عشوائية براونية، ولكن إذا تواجدت بتراكيز مرتفعة يصبح ترسبها أسرع من الغبار المعلق وذلك لقدرتها على التجمع (التخثر) ويزداد حجمها وبالتالي تتحول إلى أكبر من 1 ميكرون.



- يبين الشكل التالي أهم العمليات التي من خلالها ترسيب الجسيمات الصلبة :



تأثير الجسيمات على الوسط : 1 - امتصاص الإشعاع الشمسي وزيادة انعكاس الإشعاع الشمسي وإعادته إلى الفضاء مما يقلل الإشعاع الذي يصل سطح الأرض مما يؤدي لدور في تبريد درجة حرارة الأرض.

2 - يحتوي الهواء على أيونات موجبة وأيونات سالبة، وكلما كانت السالبة أكثر كان نظيفاً، ولكن إذا كان ملوثاً بالجسيمات الصلبة ذات الشحنة الموجبة عادةً تنخفض جودة الهواء.

3 - الجسيمات الدقيقة تجتاز الحواجز الدفاعية في الجهاز التنفسي لتصل إلى الشعب الرئوية محدثة أضراراً سمية.

التلوث بالرصاص : يأتي ضرر الرصاص ومركباته العضوية المعدنية من شدة سميته على تراكمه في الأنسجة حتى تصل مرحلة التسمم. ويضاف الرصاص (رابع إيتيل الرصاص أو رابع ميتيل الرصاص) إلى الوقود لرفع الرقم الأوكتاني، ولكن يتحول الرصاص العضوي في الجو إلى صورة غير عضوية ويخرج مع العادم على شكل جزيئات (أكاسيد، كلوريدات، بروميدات الرصاص) في الجو حجمها أصغر من 0,5 ميكرون مما يجعله سهل الانتشار، ويتحول إلى كربونات الرصاص السمية التي تنتشر لمسافات بعيدة

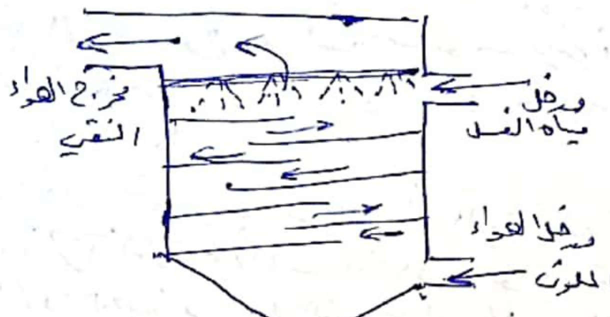
• التلوث بالزئبق : يعتبر الزئبق من الملوثات الخطرة خاصة عند تحوله بفعل بعض الكائنات الدقيقة من الشكل اللاعضوي إلى الشكل العضوي السام (ميثيل الزئبق) $CH_3.Hg$ ، كما أنه يمكن أن يتواجد في شكل أبخرة الزئبق الذي يدخل الجسم عن طريق الجلد والرئتين ، ويتواجد Hg في محطات الطاقة وخاصة تلك التي تعمل بالفحم.

أهم طرق التخلص من الجسيمات العالقة في العمليات الصناعية :

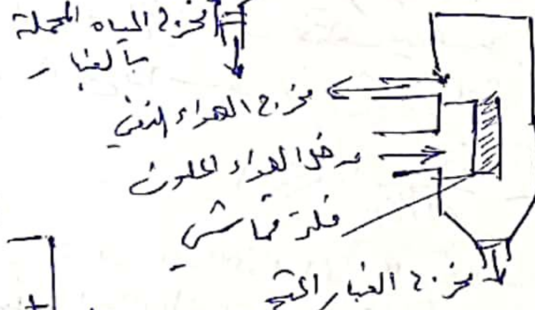


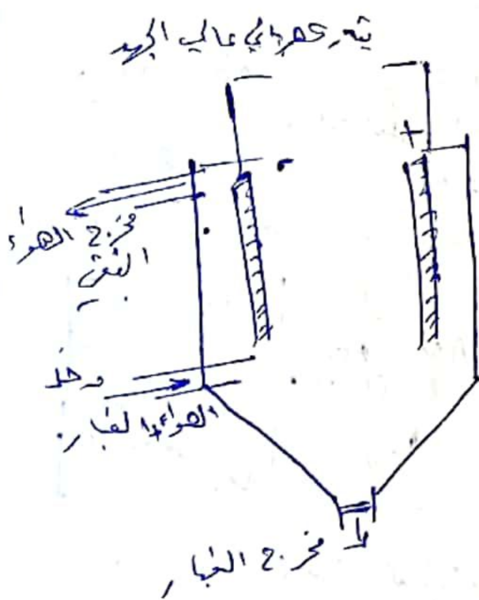
1 - السيكلونات : يدخل التيار الهوائي تحت تأثير ضغط وسرعة عالية إلى السيكلون ليصطدم بأسطوانة مفرغة من الأسفل والأعلى فتنخفض سرعة التيار المشبع بالجسيمات الغبارية الصلبة وتزداد كتلتها فتترسب إلى الأسفل ليخرج الهواء النقي بشكل من أسفل الأسطوانة الداخلية ويصعد إلى مخرج السيكلون. بينما يتم تجميع الغبار المترسب في أسفل السيكلون.

2 - التنقية بواسطة الغسيل بالماء :



3 - التنقية القماشية :





4 - المرسبات الكهروستاتيكية : في هذا المرسب يوجد قطبان كاثود وأنود يطبق عليهما جهد عالي من التيار الكهربائي مما يؤدي إلى تأين جسيمات الغبار والعناصر المكونة له إلى أيونات سالبة وأخرى موجبة ، تتجه الموجبة نحو الأنود والسالبة نحو الكاثود وبعد فترة يتم إيقاف التيار لتهبط تلك الجسيمات إلى أسفل المرسب وهذا النوع يمتاز بمقدرة عالية جدا على احتجاز الجسيمات فائقة الدقة بينما السيكلونات تكون فعاليتها محصورة بالجسيمات الكبيرة نسبيا.

بشكل عام يمكن إجمال الطرق المتبعة في تخفيض انبعاثات المواد الملوثة في ثلاثة اتجاهات :

1 - فصل الملوثات الضارة ، وذلك قبل انطلاقها إلى الأوساط الخارجية إما بالترسيب أو ربطها مع مركبات أخرى ليتم احتجازها.

2 - تحويل الملوثات إلى مركبات غير سامة قبل انطلاقها إلى الوسط الخارجي كما في حالة NO_2 وتحويله إلى N_2 ، أو تحويل CO إلى CO_2 ...

3 - تغيير نوع الوقود والتحول إلى مصادر جديدة للطاقة. مثل إزالة الكبريت من الوقود قبل حرقه ، أو إزالة الكربون للحصول على H_2 ... أو استخدام مصادر الطاقة المتجددة.

• **الرصد البيئي**: يعرف الرصد البيئي على أنه جملة العمليات لتحديد بأدوات الوسط المحيط بهدف تقدير جودته والتنبؤ بالحالة المستقبلية

- مفهوم الحد المسموح به (Max. Permeseble Consentration MPC) وهو تركيز المادة الملوثة في الوسط المدروس والتي لا تؤدي إلى حدوث أية آثار سلبية على الإنسان ضمن فترة تواجده الزمنية.

- وهنا يبرز دور مدة التعرض: وهذا يعني وجود حدود مسموح بها لحظية، نصف ساعية، ساعية، 8 ساعات، يومية، سنوية، دائمة.

وذلك حسب المكان الذي تتواجد فيه تلك الملوثات. فالعامل الذي يعمل بوردية 8 ساعات يجب أن لا يتعرض لملوثات الهواء إلا تبعاً لقدرة تحمل الإنسان لتراكيز تلك الملوثات لمدة 8 ساعات، بينما إذا دخل إلى أحد المرافق الصناعية ذات الانبعاثات الأكبر فينطبق عليه الحد المسموح به الساعي أو النصف ساعي وهكذا. بينما الحد المسموح به لعدة سنوات يعني أن الشخص يسكن في قطاع سكني (أي هذا الوسط) وهو ما يفرض أن لا يزيد تركيز المادة الملوثة عن قيمة تسمح له بالتواجد الدائم في هذا الوسط.

• **ملوثات ذات الأثر التجميعي**: هي الملوثات التي تتشابه في أثرها السلبي على الإنسان وتشترك مع بعضها لتحدث أثراً أكبر على الإنسان إذا ما تواجدت مع بعضها البعض (جميعها مشتركة في إحداث أثر على الجملة العصبية والجهاز التنفسي) (NO_2, NO, SO_2, SO_3, CO, VOC, PAN, CO_2, H_2S ....الخ) لكن تختلف فيما بينها بحجم هذا الأثر.

التركيز اللابعدي: وبناءً على ما سبق برز شرط الأثر التجميعي لهذه الملوثات وهو ما يجب تحققه في العلاقة:

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{MPC_i} \le 1$$

C_i: القيمة الفعلية
MPC_i: الحد المسموح به

درجات الخطورة: صنفت ملوثات الهواء إلى 4 درجات خطورة، ولكي يتم حساب مؤشر حالة التلوث العام للهواء محسوبة على أساس واحد للملوثات الأساسية (تم اختيار SO_2 كعامل مشترك تحسب على أساسه تراكيز باقي الملوثات) وبالتالي سيتم قياس خطورة باقي الملوثات على أساس SO_2 وفق المثال الموضح بالجدول

درجة الخطورة	I	II	III	IV
المركبات	PAN, VOC, معادن Cd, Pb	H_2S, CO, NO_2....	SO_2	CO_2, N_2O, CH_4
عامل التحويل على أساس SO_2 α_i	1,7	1,3	1	0,9

وبموجب العلاقة التالية يتم حساب دالة التلوث العام للهواء (أو مؤشر الجودة)

$$J_n = \sum_{i=1}^{n} J_i = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{C_i}{MPC_i} \right)^{\alpha_i}$$

والرقم الذي ينتج يعبر عن تركيز إجمالي الملوثات في الهواء محسوبة على أساس SO_2 (كما لو أن كل الملوثات حولناها إلى SO_2).

تقدير كمية الانبعاثات الناجمة عن احتراق الوقود :

• تقدير كمية انبعاثات CO (أول أكسيد الكربون)

تعتمد مبدأ تقدير كميات CO المنبعثة على أساس معامل الانبعاث (If). إذ أن لكل نوع من أنواع الوقود المستخدم وحسب طريقة الاحتراق معامل انبعاث مختلف.
مثلاً، إذا تم استخدام الديزل في الحراقات الصناعية فإنه سيترتب عن كل واحدة وزن (أو حجم) من الديزل انبعاث كمية معينة من CO، لكن إذا ما تم حرق الديزل في محركات السيارات تكون الكمية المنبعثة من واحدة الحجم مختلفة، أما في وسائل التدفئة فمعامل الانبعاث أيضاً مختلف.
وبالتالي معامل الانبعاث هو عدد غرامات CO المنبعثة من واحدة الحجم للوقود المستخدم تبعاً لطريقة الاحتراق.
لو أخذنا البنزين مثلاً فإن حرق 1 ليتر منه في السيارات الصغيرة سيؤدي إلى انبعاث (2 غ) CO على سبيل المثال، بينما لو تم استخدام ذات البنزين في الدراجات النارية فإن حرق 1 ليتر منه سيؤدي إلى انبعاث 0,9 غ CO لكل ليتر، وفي مولدات الطاقة سيصبح معامل الانبعاث (0,7 غ CO لكل ليتر)
توجد قيم معاملات الانبعاث من الجداول الهندسية في هذا المجال.
- وبالتالي إذا أردنا تقدير كمية الانبعاث من CO لمجمع صناعي ما أو لمدينة ما يتوجب معرفة كمية الوقود المستخدم في كل شكل (نمط) من أنماط الاحتراق وبعد معرفة معامل الانبعاث لكل نمط يتم الحصول على جداء كمية الوقود مع معامل الانبعاث ومن ثم جمع كميات الانبعاث مع بعضها لينتج إجمالي كمية الانبعاث لـ CO.

مثال: تم بتقدير كمية انبعاث CO لمجمع صناعي يحتوي على وحدة حرق في المراجل تعمل على الديزل ووحدة أخرى تعمل على الفيول، و 10 وسائط نقل داخلية ثقيلة تعمل على البنزين
علماً أن كمية الديزل المستخدمة يومياً 100 كغ، والفيول 200 كغ، والبنزين 50 كغ لكل سيارة
معامل الانبعاث (If_{CO}) للديزل في وحدات الحرق = 10 غ لكل كغ
" " للفيول " " = 20 غ "
" " للبنزين في وسائط النقل = 5 غ "

يصبح إجمالي انبعاثات CO التقديرية كما يلي:

$$7500 = 2500 + 4000 + 1000 = (10 \times 50 \times 5) + (200 \times 20) + (100 \times 10)$$

= 7,5 كغ من CO يومياً.

• تقدير كمية انبعاثات NO_x : تتشكل أكاسيد الآزوت في منظومات الاحتراق في درجات الحرارة المرتفعة وذلك لأن N_2 الموجود في الهواء الداخل إلى حجرة الاحتراق يتفكك إلى آزوت ذري ($N + N$) فقط في درجات الحرارة المرتفعة مما يسمح عندها بتشكل ($NO_2 + NO$).
لذلك نجد أن تراكيز NO_x في السيارة ذات السرعة البطيئة منخفضة بينما تزداد قيم NO_x مع السرعات العالية عكس قيم (HC) الهيدروكربونات الغير محترقة و CO التي تزداد قيمها في السرعات البطيئة (السيارة أو المحرك السيارة) بينما تنخفض مع السرعات العالية حيث يكون الاحتراق شبه كامل

لذلك فإن انبعاثات NO_x مرتبط بالطاقة الحرارية أو بالأحرى بالطاقة الكامنة في الوقود المستخدم . ويوجد جداول هندسية تعطي كمية الطاقة المولودة في كل شكل من أشكال الوقود ، كما أنه يوجد جداول تعطي قيم الانبعاثات لـ NO_x لكل وحدة من الطاقة . بغض النظر عن طبيعة الوقود

مثال : تم تقدير كمية الانبعاثات من NO_x لقطاع صناعي يحتوي على ٥ حراقات تعمل على الفيول تستهلك كل منها ١٠٠ كغ ديزل يومياً , كما تحتوي على معدات أخرى تستهلك الوقود (ديزل) ٢٠٠ كغ يومياً , و ١٥ وسائط نقل داخل المنشأة ، علماً أنه وفق الجداول الهندسية يترتب على كل 1 تيراجول من الطاقة انبعاث 5 كغ من NO_x ,

هنا يترتب علينا معرفة كمية الطاقة الموجودة في كل نوع من أنواع الوقود ويفرض بعد العودة للمراجع الهندسية تبين أن كل ١ كغ فيول يحتوي على 5 تيراجول وكل ١ كغ ديزل يحتوي على 2 تيراجول , وكل ١ كغ بنزين يحتوي على ١ تيراجول

الكمية الإجمالية للانبعاثات NO_x تصبح :

$$NO_x \text{ كغ } 8500 \text{ يومياً} = \{(0)\}_{\text{وسائط النقل}} + \{5\times(200)\}_{\text{المعدات}} + \{5\times(5\times100\times3)\}_{\text{الحراقات}}$$

لاحظ أننا وضعنا 0 في خانة وسائط النقل لأنها داخلية (أي داخل المنشأة) أي لا تسير بسرعات عالية وبالتالي درجة حرارة محركاتها لا تكفي لتشكل NO_x , إذ تكون القيم مهملة .

تقدير كمية انبعاثات SO_2 : المبدأ الأساسي في حساب كمية SO_2 هو أن الوقود المستخدم يحتوي على نسب مختلفة تبعاً لنوع الوقود ودرجة معالجته والمكامن التي أتى منها فمثلاً يمكن للفيول أن يحتوي على 5% كبريت , بينما الديزل حوالي 1,1% كبريت , بينما البنزين حوالي 0,1% , بينما الغاز الطبيعي حوالي 0,0001% أي قيمة شبه مهملة , بينما الفحم الحجري تصل نسبته إلى 7% . يدخل الكبريت مع الوقود إلى منظومة الاحتراق ويتحول إلى SO_2 وفق التفاعل التالي :

$$S + O_2 \longrightarrow SO_2$$

$$32 \qquad\qquad 64$$

$$2 \qquad\qquad x$$

وبمعرفة كمية الوقود المستخدم ونسبة الكبريت فيه يتم حساب القيمة التقديرية لـ SO_2 المنبثق

بموجب الموازنة المادية للتفاعل . فمثلاً لو كانت كمية الوقود ١٠٠ كغ ونسبة الكبريت فيه 2 % تصبح كمية الكبريت الداخلة في التفاعل

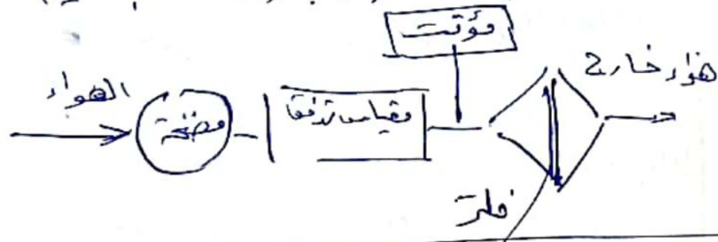
$$\text{كغ } 2 = \frac{2\times100}{100}$$

هذا يعني أن كمية SO_2 التقديرية = x = $\frac{2\times64}{32}$ = 4 كغ SO_2

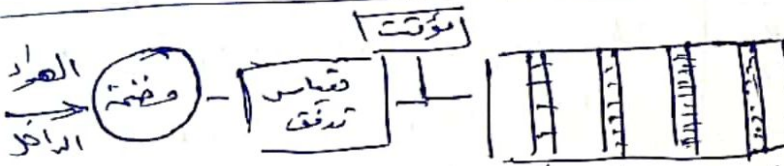
المبادئ الاساسية المعتمدة في أجهزة قياس ملوثات الهواء

- **أجهزة قياس تراكيز العلقات الكلية** Total suspended particulat (TSP)

يؤخذ غشاء (فلتر) موزون مسبقاً ويوضع داخل مجموعة القياس ، المجموعة مزودة بمضخة لسحب الهواء (كما في المكنسة الكهربائية) ، هذه المضخة مزودة بمقياس تدفق (أي معدل الامتار المكعبة من الهواء المسحوبة عبر المجموعة في وحدة الزمن) كما أن المجموعة مزودة بموقت زمني ، يتم تشغيل المجموعة في المكان المراد قياس تراكيز TSP فيه لفترة من الزمن ثم توقف ، ينزع الغشاء (الفلتر) ثم يوزن ويحسب الفارق والناتج هو وزن الغبار الكلي خلال الفترة الزمنية التي عملت فيها المجموعة ، وبيانات التدفق معلومة سيتم حساب كمية الهواء الكلية التي ترسبت (احتجزت) منها كمية الغبار هذه وبتقسيم كمية الغبار على حجم الهواء نحصل على التركيز



- **قياس تراكيز العلقات تبعاً لاقطارها :**

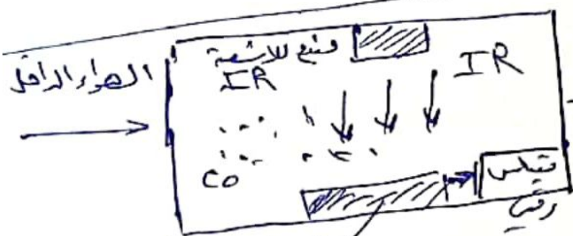


الجهاز يتألف من مضخة تسحب الهواء ومقياس تدفق وموقت موصولة على الجهاز في داخله عدة فلاتر ذات مسامات مختلفة ، تحجز على كل فلتر الجسيمات التي أقطارها أكبر من قطر المسامات

فلتر ذو مسامات 10 ميكرون
فلتر ذو مسامات 5 ميكرون
فلتر ذو مسامات 2,5 ميكرون
فلتر ذو مسامات 1 ميكرون

وبعد الاستمرار يتم حساب كمية كل من الجسيمات تبعاً لاقطارها على كل طبق (فلتر)

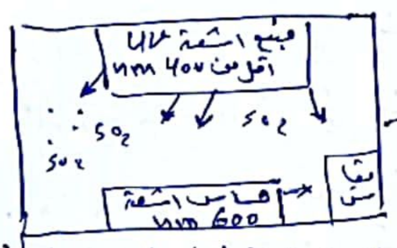
- **أجهزة قياس تراكيز CO :** تعتمد على حساسية جزيئات CO لاطوال موجية معينة من الاشعة تحت الحمراء (طول موجة معين) إذ لا يتحسس أي من مكونات الهواء الملوث الداخل بهذه الأطوال الموجية عدا CO الذي يقوم بامتصاصها حيث يولد منبع خاص بهذه الاشعة كثافة اشعاعية معينة يمتص منها CO المتواجد في الحجرة كمية معينة تبعاً لتراكيزه في الهواء الداخل ويوجد حساس آخر لاشعة IR المتبقية حيث يحسب كثافتها وبموجب الفارق بين الكثافة الاشعاعية من المنبع والكثافة الواصلة الى الحساس تحسب نسبة CO في الهواء

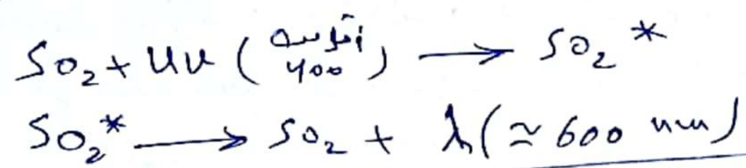


- **أجهزة قياس تراكيز CO_2 :**

ذات المبدأ المتبع في حالة CO لكن الاطوال الموجية لـ IR هنا مختلفة

• أجهزة قياس SO_2 : الجهاز مزود بمنبع للأشعة UV بأطوال موجية أقل من 400 نانومتر تتحسس لـ جزيئات SO_2 فقط إذ يؤدي امتصاصها لتلك الأشعة إلى تهيجها وإثارتها لتعود وتستقر مستغنية عن الطاقة الزائدة على شكل أشعة ذات أطوال موجية أخرى (من الضياء الحيوي) (طول الموجة الصادرة من SO_2^* ≃ 620 نانومتر) ويوجد حساس يتحسس لكثافة الأشعة ذات الأطوال الموجية ≃ 600 نانو وبالتالي نحسب تركيز SO_2 .

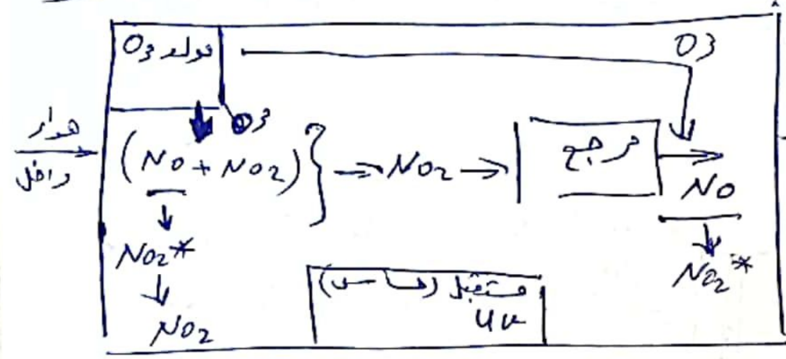




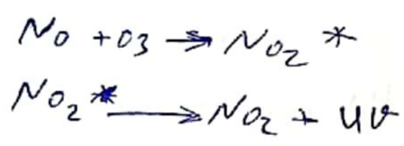
$$SO_2 + UV\ (\text{أقل من } 400) \longrightarrow SO_2^*$$

$$SO_2^* \longrightarrow SO_2 + \lambda (\simeq 600\ nm)$$

• أجهزة قياس NO_x $(NO+NO_2)$



يحتوي على مولد O_3 حيث أن الهواء الداخل الذي يحتوي على NO و NO_2 ، فيتفاعل فقط NO مع هذا المركب مع O_3 ليعطي NO_2^* بحالة إثارة ليستقر بعدها مطلقاً كثافة إشعاعية من نمط UV بأطوال موجية خاصة به، تتناسب هذه الكثافة الإشعاعية مع تركيز NO_2^* المثار الذي هو أساساً كان NO . ويوجد حساس لهذه الأطوال الموجية الذي يحسب شدة الإشعاع ويعطي قراءة تعبر عن تركيز (NO) فأصبح لدينا الآن بعد هذه المرحلة فقط (NO_2) الكلي الذي هو مجموع NO الأولي + NO_2 الأولي .



$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2^*$$

$$NO_2^* \longrightarrow NO_2 + UV$$

يتم إرجاع (NO_2) الكلي في حجرة خاصة إلى (NO) مجدداً ويتم تعريضه مرة أخرى لـ O_3 حيث يتشكل NO_2^* ليستقر بعد ذلك مطلقاً كثافة إشعاعية يتحسس حساس الأشعة UV ويعطي قراءة تتناسب مع تركيز (NO_2) الكلي فتكون هذه القراءة هي مجموع تركيز (NO الأولي + NO_2 الأولي) ولدينا بالأساس قراءة أولى لتركيز (NO الأولي) ويقوم الجهاز بطرح القيمتين ليتم الحصول على تركيز NO_2 الأولي . وبالتالي يصبح لدينا 3 قراءات : تركيز NO_2 ، تركيز NO ، تركيز $NO_x = (NO+NO_2)$.

الاحتباس الحراري والتغيرات المناخية

- النسبة الطبيعية لـ غاز CO_2 في الهواء ≃ 0,03 % ولا يشكل خطرًا بهذه النسبة، ولكن زيادة انبعاثاته ستؤدي إلى ازدياد تركيزه في الهواء، الأمر الذي سيؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوي، بسبب قدرة CO_2 على امتصاص الأشعة طويلة الموجة المرتدة من سطح الأرض نحو الأعلى، حيث أنه يسمح بمرور (أي CO_2) الأشعة الشمسية بأطوال الموجية (حتى 1375 نانومتر) القادمة من الشمس، ولكن بعد أن يمتص سطح الأرض هذه الموجات سيعيد إصدارها إلى الهواء مجددًا لكن بأطوال موجية كبيرة (أكبر من 1375 نانومتر)، فلا تستطيع هذه الموجات النفوذ عبر جزيئات CO_2 في الهواء، فترتفع درجة حرارة الهواء.

- هناك غازات أخرى تقوم بنفس الدور الذي يقوم به CO_2، لكن التركيز على CO_2 يكون بسبب أن نسبته تشكل أكثر من 70 % من إجمالي غازات الاحتباس الحراري.
- من هذه الغازات: CH_4 ، H_2O ، O_3 ، N_2O ، وغازات الفريون CFC ...
- تضاعف نسب هذه المركبات في الغلاف الجوي هو ما يثير القلق لما تسببه من احتباس في الحرارة خاصةً بعد الثورة الصناعية.

- أهم الآثار المترتبة على الاحتباس الحراري:
- انصهار جزء من جليد القطبين وقمم الجبال مما سيؤدي إلى ارتفاع منسوب البحار وغمر مساحات كبيرة من اليابسة.
- خلل في توزيع سقوط الأمطار، فبعض المناطق ستشهد فيضانات وبعضها سيعاني الجفاف.
- انهيار منظومة الزراعة بسبب تغير المناخ.
- خلل في النظام البيئي البحري الذي يعتبر مصدر مهم للغذاء العالمي.
- القضاء على الكثير من الغابات.

- حلقة التغذية الارتجاعية:
- إن ارتفاع نسبة CO_2 في الهواء سيؤدي إلى المزيد من احتباس الحرارة، وما سيؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة المياه في البحار والمحيطات، وبالتالي ستحرر البحار والمحيطات المزيد من CO_2 المنحل فيها إلى الهواء بسبب ارتفاع درجة حرارتها (وفق قانون هنري الذي ينص على أن قدرة المياه على احتباس الغازات المنحلة فيها تزداد مع انخفاض درجة حرارة المياه وتنخفض مع ارتفاع درجة حرارتها). ومع انبعاث CO_2 إضافي من المحيطات وانخفاض قدرة هذه المياه على احتجاز الغازات سوف تساهم هذه النسبة المتحررة في المزيد من رفع درجات حرارة الهواء، وهكذا تتوالى العملية، وهو ما يسمى بحلقة التغذية الارتجاعية.
- ونفرض أن حدث العكس وانخفضت درجة حرارة الهواء، سيؤدي ذلك إلى انخفاض درجة حرارة مياه البحار والمحيطات مما سيزيد قدرتها على إذابة المزيد من CO_2 ، مما سيؤدي إلى خفض حرارة الهواء ... وهكذا وهذا ما يسمى بحلقة التغذية الارتجاعية السلبية.

• الأدلة على تغير المناخ في العصور الجيولوجية

١٦/

1- وجود الصخور الجليدية في مناطق يسود فيها المناخ الحار حالياً هي مؤشر على مناخ جليدي منذ مئات آلاف السنين حين تشكلت هذه الصخور

2- وجود رواسب الملح والجبس في مناطق يسود فيها المناخ البارد حالياً مؤشر على مناخ حار منذ مئات آلاف السنين حين تشكلت هذه الرواسب

3- وجود الأحجار الجيرية المرجانية في مناطق مناخها بارد يشير إلى مناخ دافئ أثناء تشكل المرجان.

4- وجود التكوينات الفحمية التي لا تظهر فيها آثار حلقات النمو السنوية دليل على وجود غابات المدارية الدائمة.

5- عينات المياه القديمة المتجمدة منذ آلاف السنين (في القطبين) حيث يحتجز الجليد على ذرات رماد وبعض CO_2 المنحل والغازات الأخرى وبمعرفة عمر العينة من خلال نظائر العناصر يتم تحديد طبيعة المناخ السائد في تلك الأحقاب

• الأدلة على تغير المناخ في العصور التاريخية

- البيانات الخاصة لفترات الأمطار والزراعة المدونة من قبل الحضارات القديمة
- بيانات الفيضانات وفترات تجمد البحيرات والأنهار
- حلقات النمو السنوية للأشجار المعمرة.
- هجرة الشعوب والقبائل بسبب تغير المناخ
- وجود الغابات الميتة بسبب شح الأمطار
- وجود بقايا المدن والقرى في مناطق لا تصلح حالياً للعيش
- وجود آثار زراعة في مناطق لا تصلح حالياً للزراعة
- وجود موانئ في مناطق متجمدة لا تصلح للعيش ..... الخ
- نوى نبات الطلح في رسوبيات بعض الأنهار والبحيرات تشير إلى نوع المناخ الذي كان سائداً.

15/

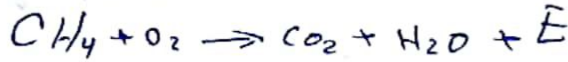
• طرق تخفيض انبعاثات CO_2

١- استخدام المحاليل الكيميائية والمركبات الماصة لغاز CO_2 أثناء عبوره عبر مداخن المجمعات الصناعية

٢- استخدام أغشية رقيقة (النفسزونية) (($r \approx 1 A°$)) لفصل الغازات في المداخن حيث يتم احتجاز CO_2 وبعض الغازات الأخرى

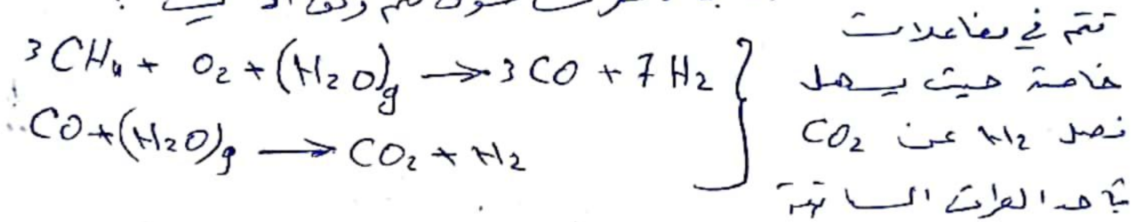
٣- تبريد غازات المداخن إلى النقطة التي يصبح فيها CO_2 سائلاً يسهل احتجازه ونقله إلى أماكن إعادة استخدامه أو التخلص منه.

٤- إزالة الكربون قبل الاحتراق:
على فرض أن الوقود هو CH_4 فعملية الاحتراق للحصول على الطاقة تتم وفق التفاعل:



$$CH_4 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + E$$

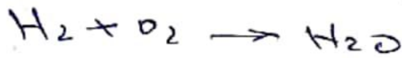
عملية إزالة الكربون قبل الاحتراق سوف تتم وفق الآتي:



$$3CH_4 + O_2 + (H_2O)_g \rightarrow 3CO + 7H_2$$
$$CO + (H_2O)_g \rightarrow CO_2 + H_2$$

تتم في مفاعلات خاصة حيث يسهل فصل H_2 عن CO_2 في هذه المرحلة السابقة

عندها نحصل على CO_2 معزول ينقل إلى حيث يمكن التخلص منه و (H_2) الذي يتم استخدامه كوقود للاحتراق والحصول على الطاقة



$$H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$$

وبالتالي نكون قد تجنبنا انبعاث CO_2 إلى الغلاف الجوي.

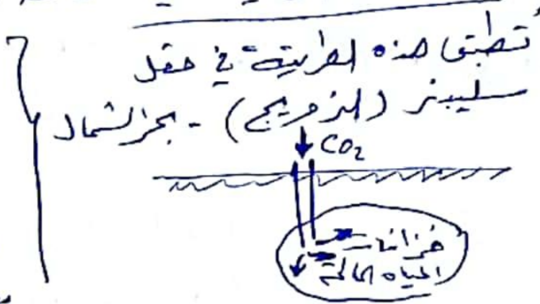
5- الاحتراق مع الأكسجين بدلاً من الهواء: حيث يشكل N_2 78% من الهواء الداخل إلى عملية الاحتراق، فعند استخدام (O_2) في الاحتراق سيتم اختصار الانبعاثات في المداخن إلى (CO_2) الذي سيشكل بنسبة 90% وبخار H_2O وبعض الغازات الأخرى ما يسهل عملية الفصل لـ CO_2. أما N_2 المنزوع سيستخدم في مجالات أخرى.

طرق التخلص من CO_2 بعد عزله :

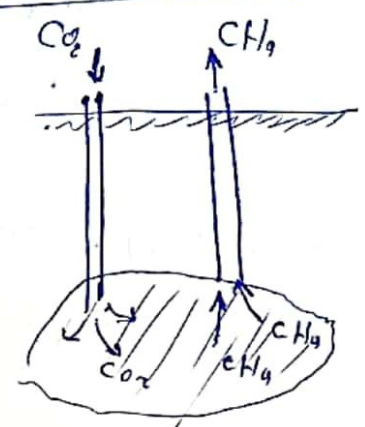
بعد أن تم عزل CO_2 من مداخن المجمعات الصناعية سيصبح عبئاً في عملية تخزينه أو التخلص منه، لأن كميات بسيطة سيتم الاستفادة منها في الصناعة مثل صناعة الكربونات أو CO_2 الجمد وغيرها ذلك. لذلك يجب التخلص الآمن منه بإحدى هذه الطرق :

1 - الخزانات الجوفية للمياه المالحة : والتي تكون موجودة مع أعماق كبيرة ملائمة لتخزين CO_2 وهي ممتلئة بالمياه المالحة الغير مناسبة للإمداد البشري أو الصناعي. حيث من الممكن أن يذوب CO_2 جزئياً في هذه المياه، ويمكن أن يتفاعل مع بعض المعادن مكونة رواسب مستقرة من الكربونات واحتجازه بصورة دائمة.

تطبق هذه الطريقة في حقل سليبنر (النرويج) - بحر الشمال



2 - طبقات الفحم الحجري : يصعب استخراج ترسبات الفحم الحجري المتواجدة في أعماق بعيدة. وبما أن الفحم هو C، فإنه سيقوم بامتصاص CO_2 ويقوم باحتجازه بصورة دائمة. وعادة ما تحتوي ترسبات الفحم الحجري على CH_4. وعندما يتم ضخ CO_2 في الفحم الحجري سيتم امتصاصه على حساب CH_4 الذي ينطلق ويتم تجميعه في الأعلى. لكن المشكلة الأساسية هنا هي أن الفحم الحجري سينتفخ نتيجة امتصاص CO_2 وبالتالي تتقلص المنافذ التي يمكن أن يتدفق الغاز خلالها، مما ينتج عنه الحد من سعة التخزين.



3 - الاستخلاص المعزز للنفط : يتم ضخ CO_2 في بئر موازي للبئر الأساسي (بئر الإنتاج) الذي نضب. يؤدي الضغط المتشكل بفعل CO_2 إلى تدفق النفط بسهولة نحو بئر الإنتاج ليرتفع إلى السطح، كما أن CO_2 يذوب في النفط فيجعله أقل لزوجة مما يسهل اندفاعه نحو الأعلى وهكذا يتم استخراج أكبر كمية ممكنة من النفط، ثم يتم إغلاق هذا البئر والاستمرار في ضخ CO_2 كي يصل إلى ضغوط معينة تبعاً لطبيعة الطبقات المتكونة وقدرتها على تحمل هذه الضغوط وهذه الطريقة مطبقة في حقول ويبرون في كندا.

